

## DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION EN LA CUENCA DEL DUERO

por: A. Egido, F. de Pablo, M. Egido y J. Garmendia  
Departamento de Física de la Tierra y el Cosmos  
Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.

### Resumen

Se obtiene una distribución de los valores medios anuales de la precipitación en la Cuenca del Duero, basándose en cuatro parámetros geográficos y topográficos (altitud, laplaciana de la altitud y distancia al mar en las direcciones Noroeste y Norte) para su cálculo.

Se evalúa la importancia relativa de cada uno de estos factores topográficos, resultando el parámetro altitud el más influyente.

Finalmente, se presentan mapas de isoyetas, correspondientes a los valores reales y calculados de precipitación. Se advierte entre ellos un notable parecido.

### Summary

In order to calculate it we must obtain a distribution of the average annual rainfall in the Duero Basin, taking into consideration four geographical and topographical parameters to calculate it: altitude, laplacian of the altitude and distance to the sea in the Northwest and North directions.

We evaluate the relative importance of each of these topographical factors, the altitude parameter turning out to be the most influential.

Finally, we present isoyhetal maps, corresponding to the real and calculated values of rainfall. A remarkable likeness between them is observed.

### Introducción

Es de sobra conocida la importancia de la precipitación en el mundo, por la incidencia que tiene en todos los campos de la actividad humana.

La lluvia es un fenómeno meteorológico discontinuo y muy variable con las circunstancias locales, principalmente las del relieve del terreno, y al relieve y a otros factores ligados con los movimientos verticales del aire y del contenido de vapor de agua en la atmósfera, hay que acudir para explicar, cualitativa y cuantitativamente, la distribución de la precipitación en la Cuenca del Duero.

Encontramos algunos estudios realizados para la Cuenca del Duero, correspondientes a los autores Huerta (1967) y Huerta y Gómez de Velasco (1968), en los cuales se propone una fórmula de cálculo del volumen total de precipitación en la Cuenca del Duero, a partir de las precipitaciones de las nueve capitales de provincia de dicha Cuenca. Nosotros, en cambio, proponemos una fórmula para calcular la precipitación media en cualquier lugar de la Cuenca del Duero, en función exclusivamente de sus características geográficas y topográficas (Egido, A., 1984).

Disponemos de 20 años de observaciones ininterrumpidas, desde 1961 hasta 1980, ambos inclusive; número suficiente, creemos, para la realización de nuestro trabajo.

Las fuentes de información teórica sobre este trabajo, así como, una síntesis de las borrascas

que afectan a la Cuenca del Duero, se pueden encontrar en nuestro estudio (EGIDO, A. y Col, 1984), donde presentamos los parámetros geográficos y topográficos que inciden en la distribución de la precipitación, y una clasificación de las perturbaciones que afectan de una manera más significativa a la zona que nos ocupa.

### **Rasgos topográficos y climáticos de la Cuenca del Duero**

La Cuenca Hidrográfica del Duero se extiende por casi la totalidad de la Submeseta Septentrional, ocupando una superficie de 78.972 km<sup>2</sup> lo que supone el 15,7 % de la extensión total nacional.

Su eje longitudinal orientado Suroeste-Noreste, tiene una longitud de aproximadamente 450 km y una dimensión transversal máxima de aproximadamente 225 km de longitud.

Se encuentra limitada septentrionalmente por la Cordillera Cantábrica y meridionalmente por el Sistema Central, cerrada en su extremo Noroeste por el Sistema Ibérico y más abierta por el Oeste y Suroeste.

Los dos rasgos sobresalientes, que determinan en gran manera sus características climáticas son: su gran altitud y el aislamiento que introduce el extenso cinturón montañoso en que se encuentra enmarcada.

#### ***Rasgos topográficos***

La Cuenca del Duero se encuentra en su mayoría topográficamente entre los 600 y 1.000 m de altitud sobre el nivel del mar, lo que nos permite afirmar que es la tierra llana y elevada la que configura la zona central e interior de la región.

En la zona Este y Norte de la Cuenca, con altitudes comprendidas entre 900 y 1.100 m, se encuentra una región caracterizada por rígidas mesetas, separadas por valles profundos que se ex-

tienden por las provincias de Palencia y Valladolid, llegando hasta Tordesillas y elevándose progresivamente hacia Burgos y Soria.

En el sector Centro y Sur, con altitudes entre 700 y 800 m, se presentan llanuras con suaves ondulaciones y valles de gran anchura, se encuentran la Tierra de Campos y La Armuña Salmantina.

Otra forma del relieve se encuentra al Sur de Salamanca, donde el terreno se eleva progresivamente (900-1.000 m) y se extiende hasta la Sierra de Francia.

Por último, el cinturón montañoso que bordea la Cuenca está surcado por Puertos con altitudes entre los 1.100 y 1.700 m, tanto por el Norte como por el Sur, excepto por la Submeseta Norte y por el Suroeste, en el encajamiento del Duero con Portugal.

#### ***Condiciones climáticas***

La situación climática, debida al aislamiento marítimo por el cinturón montañoso que la bordea, afecta principalmente al régimen de lluvias, e indirectamente a su cuantía. En el verano, la Cuenca pertenece a la extensa zona en la que dominan de un modo neto las masas de aire tropical —anticiclón de las Azores— y padece, por lo tanto, una acusada aridez estival. En el centro del invierno cae plenamente dentro del área de circulación anticiclónica oceánica y continental, que, aparte de dar lugar a un largo período de frío intenso, origina un mínimo secundario de precipitaciones.

Los valores de la precipitación oscilan entre los 1.625 mm que se registran en las montañas Zamorana y Leonesa y los 300 mm que se localizan en el centro de la Cuenca, concretamente al Sureste de la provincia de Zamora.

Se pueden distinguir dos grandes zonas de distribución desigual: la zona central y llana, donde las precipitaciones medias anuales oscilan entre

300 y 600 mm y la zona montañosa, entre 600 y 1.625 mm.

A medida que descendemos hacia el Sur, se hacen más patentes dos factores limitativos del clima continental mediterráneo: las heladas y la sequía.

En la Cordillera Central las parcelas verdaderamente húmedas se localizan en las vertientes septentrionales, concretamente en la Sierra de Guadarrama y en el macizo de Gredos.

### Resultados experimentales

La investigación descrita en este estudio está centrada en la evaluación de la importancia relativa de los factores topográficos (altitud, laplaciana de la altitud y distancia al mar en las direcciones Noroeste y Norte), en la precipitación. Esta evaluación ha sido llevada a cabo mediante la utilización de un análisis de regresión lineal múltiple "paso a paso".

Hemos considerado un número total de 194 observatorios analizados.

Presentamos en la tabla 1 los coeficientes de correlación entre todas las variables geográficas y topográficas propuestas.

Tabla 1  
Coeficientes de correlación

	R	h	$\Delta h$	$D_{NO}$	$D_N$
R	1,0000				
h	0,6667	1,0000			
$\Delta h$	0,4659	0,2999	1,0000		
$D_{NO}$	-0,4551	-0,0699	-0,1677	1,0000	
$D_N$	-0,4866	-0,0542	-0,2451	0,2066	1,0000

Se observa la existencia de coeficientes de correlación moderados, entre la precipitación y cada una de las variables topográficas, esto se debe, a que hemos considerado una gran extensión en la que existen zonas diferentes, en cuanto a las condiciones geográficas y topográficas y

al carácter local y peculiar de las lluvias que afectan a esta Cuenca.

Pero sin duda, el factor dominante en la distribución de la precipitación en toda la Cuenca del Duero es la altitud, como se deduce de su coeficiente de correlación, el más alto de los que se encuentran en la tabla.

No debemos de olvidar que otro factor condicionante del clima y también importante era la situación; es decir, la mayor o menor cercanía al mar de cada una de las estaciones, cuantificable mediante las distancias al mar en las dos direcciones propuestas.

Mostramos a continuación las ecuaciones de regresión múltiple (tabla 2), realizadas "paso a paso", comenzando con la característica geográfica, altitud, por obtener el coeficiente de correlación más alto con la precipitación:

Tabla 2  
Ecuaciones de regresión lineal múltiple

Ecuaciones de regresión	Coeficientes de correlación
$R = -211,15 + 0,91 h$	$r = 0,6667$
$R = 101,27 + 0,88 h - 1,48 D_N$	$r = 0,8050$
$R = 410,79 + 0,85 h - 1,26 D_N - 0,95 D_{NO}$	$r = 0,8679$
$R = 406,54 + 0,79 h - 1,16 D_N - 0,90 D_{NO} + 1,21 \Delta h$	$r = 0,8792$

El hecho de que los coeficientes de correlación de las distintas ecuaciones, aumenten notablemente a medida que se van incluyendo las variables se debe a la poca correlación que presentan las características geográficas y topográficas entre sí.

Como se desprende de las ecuaciones anteriores, existe una influencia proporcionada y decreciente de los parámetros propuestos que da lugar a los siguientes gradientes pluviométricos.

La altitud registra un gradiente vertical de precipitación de 91 mm por 100 m de elevación, lo que indica una contribución en la distribución

de la precipitación, aunque no excesivamente grande, sí importante y por supuesto la mayor frente al resto de los parámetros.

Por lo que respecta a las distancias al mar, los gradientes pluviométricos proporcionan aumentos en la precipitación de 148 mm y 95 mm por 100 km de acercamiento a la Costa Cantábrica en un caso y a la costa Atlántica en el otro.

Todo lo anterior queda reflejado en los porcentajes que se obtienen en el análisis de la varianza (tabla 3). Así, la ecuación de predicción completa explica el 77,30 % de la varianza total, quedando distribuido para el resto de los parámetros de la siguiente forma:

Tabla 3  
Porcentajes de explicación de la varianza de la precipitación

Altitud .....	44,45 %
Distancia al mar en dirección Norte ..	20,35 %
Distancia al mar en dirección Noroeste	10,53 %
Laplaciana de la altitud .....	1,98 %

Finalmente, en los mapas 1 y 2 se encuentran esquematizadas las isoyetas correspondientes a los valores reales y calculados de precipitación mediante la ecuación de predicción. En ambos, la distribución de la precipitación se encuentra formada por dos grandes núcleos. Por una parte, el que corresponde a las precipitaciones mínimas (400 mm), centrado principalmente en la provincia de Valladolid y zonas adyacentes, resultando desplazado hacia el Suroeste en el mapa de isoyetas reales, en el que aparece igualmente un núcleo muy pequeño, situado al Sur de la provincia de Palencia.

Por otra parte, a medida que nos alejamos de este núcleo central y en las direcciones Norte-Sur, Este-Oeste, las isolíneas de precipitación van creciendo en valor, hasta llegar a ser máximas en las zonas fronterizas del cingulo montañoso que bordea la Cuenca del Duero, y registrándose los valores más altos de precipitación,

## A

	FT1	FT2	FT3	FT4	%	
					Ind.	Acu.
CP1	- 0,695	- 0,066	0,696	0,169	39,6	39,6
CP2	0,126	- 0,712	- 0,108	0,682	31,1	70,7
CP3	0,029	0,698	- 0,077	0,711	18,6	89,2
CP4	0,708	0,033	0,706	0,015	10,8	100,

## B

	C.P. 1	C.P. 2
TAG	- 0,20	+ 0,48
TSP	+ 0,13	- 0,36
XDI	- 0,28	+ 0,21
XEN	- 0,26	+ 0,18
XMZ	- 0,22	- 0,08
MMZ	- 0,54	- 0,30
MOC	+ 0,50	+ 0,20
PDI	+ 0,35	- 0,02
PEN	+ 0,45	- 0,14
PFB	+ 0,29	- 0,22
PJN	- 0,19	+ 0,18
PJL	+ 0,25	+ 0,29
DJL	- 0,29	+ 0,28
DSP	+ 0,17	- 0,13

TABLA V.—Análisis de componentes principales de las 104 estaciones definidas por las cuatro funciones discriminantes seleccionadas. En A aparecen los coeficientes de los ejes principales en orden de absorción de la varianza total. En B se presentan los coeficientes de los dos primeros ejes correspondientes a las 14 variables seleccionadas.

al Norte de León, Palencia y Noroeste de Zamora.

Sin duda, es nuestro propósito mejorar los resultados obtenidos en este estudio; resultados que en su día serán enviados para su publicación en posteriores trabajos.

## Resumen y conclusiones

- 1) Se ha utilizado un análisis de regresión lineal múltiple "paso a paso" para evaluar la importancia relativa de los parámetros geográficos y topográficos propuestos, en la cantidad de precipitación en la Cuenca del Duero.



- 2) Hemos obtenido los distintos valores de los porcentajes de explicación de la varianza de la precipitación, para cada uno de los factores topográficos.
- 3) Se han construido ambos mapas de isoyetas (reales y calculados), obteniendo distribuciones semejantes en la precipitación.
- 4) Hemos llegado a la conclusión de que la característica topográfica más influyente en la distribución de la precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Duero es sin duda la altitud.

### Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los componentes del Centro Meteorológico Zonal del Duero y en especial a su director, don Braulio Robles Covo, por habernos facilitado algunos de los datos necesarios para la realización de este trabajo.

### Bibliografía

- CABERO, V.: «El espacio geográfico Castellano-Leonés». Colec. Amb. Castilla y León, Arte y Ediciones, S. A. (1982).
- EGIDO, A.: "Influencia de las características geográficas y topográficas en la distribución de la precipitación en la Cuenca del Río Duero." Serie: Tesis Doctorales TC-353. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Salamanca (1984).
- EGIDO, A.; DE PABLO, F.; EGIDO, M., y GARMENDÍA, J.: "La precipitación en la Cuenca del Duero como función de los factores geográficos y topográficos." *Rev. de Geof.* 41, 183-190 (1985).
- HUERTA, F.: "Un método de calcular el agua precipitada en un área con pocos datos. Aplicación a la Cuenca del Duero." *Bol. Mens. climato.*, SMN, abril (1967).
- HUERTA, F., y GÓMEZ DE VELASCO, J. L.: "Un método numérico para calcular el agua precipitada en un área con pocos datos. Aplicación a la Cuenca del Duero." *Bol. Mens. Climatol.*, SMN, abril (1968).
- MATEO GONZÁLEZ, P.: "Determinación de los promedios pluviométricos en una estación con escaso número de datos." *Bol. Mens. Climatol.*, SMN, febrero (1954).
- TERÁN, M., y SOLÉ SARABIS, L.: "Geografía de España y Portugal." Ed. Montaner y Simón, S. A. 1.<sup>a</sup> ed., tomo I, 2.<sup>a</sup> ed., tomo II (1952-1954).
- WHITMORE, J. S.: "The variation of mean annual rainfall with altitude and locality in south Africa, as determined by multiple curvilinear regression analysis." In: *Distribution of precipitation in Mountainous areas*, vol. I; *Proceedings of the Geilo Symposium*, Geilo, Norway, July 31-August 5, WMO. No. 326, Geneva: 188-200 (1972).

# A

FD	F <sub>(9,253)</sub>	SIG	X <sup>2</sup>	G.L.	SIG	%		CORRELACION		
						Ind.	Acu.	Coef.	F <sub>(9,252)</sub>	SIG
FT1	16,84	+++	151,6	15	+++	73,5	73,5	0,61	151,0	+++
FT2	2,64	++	23,8	13	+	11,6	85,1	0,29	23,7	+++
FT3	1,99	+	17,9	11	-	8,7	93,8	0,26	17,9	+++
FT4	1,21	—	10,9	9	—	5,3	99,1	0,20	10,9	++
FT5	0,11	—	1,0	7	—	0,5	99,6	0,06	1,0	—
FT6	0,07	—	0,7	5	—	0,3	99,9	0,05	0,7	—
FT7	0,01	—	0,2	3	—	0,1	100,	0,03	0,2	—

# B

F.I.T.	TAG	TSP	XDI	XEN	XMZ	MMZ	MOC
F.T.1	0,043	-0,034	0,012	0,011	0,007	0,014	-0,021
F.T.2	-0,076	0,064	-0,006	-0,006	0,010	0,015	-0,012
F.T.3	-0,013	0,115	0,014	0,001	-0,006	-0,010	0,003

# C

F.D.T.	TAG	TSP	XDI	XEN	XMZ	MMZ	MOC
F.T.1	0,348	-0,241	0,436	0,399	0,285	0,473	-0,691
F.T.2	-0,621	0,457	-0,226	-0,195	0,401	0,511	-0,408
F.T.3	-0,105	0,819	0,504	0,022	-0,216	-0,342	0,102

TABLA III.— Análisis discriminante de la distribución de especies con variables térmicas. En A se presenta la tabla de significación del poder discriminante de las funciones obtenidas probado por la F y X<sup>2</sup> correspondiente, el porcentaje de la discriminación total asumido por cada función y la correlación entre ellas y el factor de clasificación. En B aparecen los coeficientes de las funciones lineales de identificación, calculadas con las variables brutas. En C se presentan los correspondientes coeficientes de las funciones discriminantes, calculadas con las variables tipificadas. (Niveles de significación: +++ 99,99 %, ++ 99 %, + 95 %, - 90 %, -- 80 % y --- 80 %.)

## A

FD	F(9,253)	SIG	x <sup>2</sup>	G.L.	SIG	%		CORRELACION		
						Ind.	Acu.	Coef.	F(9,252)	SIG
FP1	20,77	+++	186,9	15	+++	69,6	69,6	0,65	186,2	+++
FP2	5,94	+++	53,5	13	+++	19,9	89,5	0,42	53,3	+++
FP3	1,60	—	14,4	11	—	5,4	94,9	0,23	14,4	+++
FP4	0,86	—	7,8	9	—	2,9	97,8	0,17	7,7	++
FP5	0,48	—	4,4	7	—	1,6	99,4	0,13	4,4	+
FP6	0,14	—	1,3	5	—	0,5	99,9	0,07	1,3	—
FP7	0,03	—	0,3	3	—	0,1	100,	0,03	0,3	—

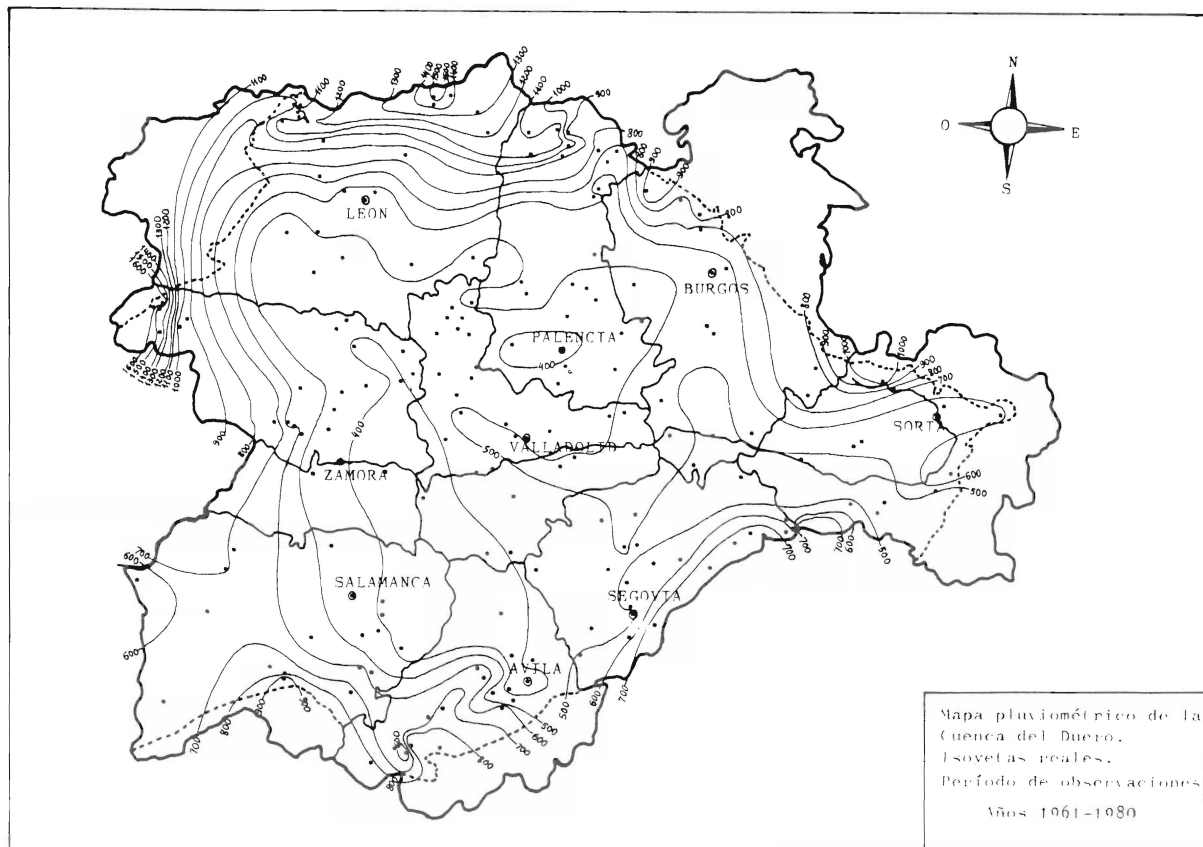
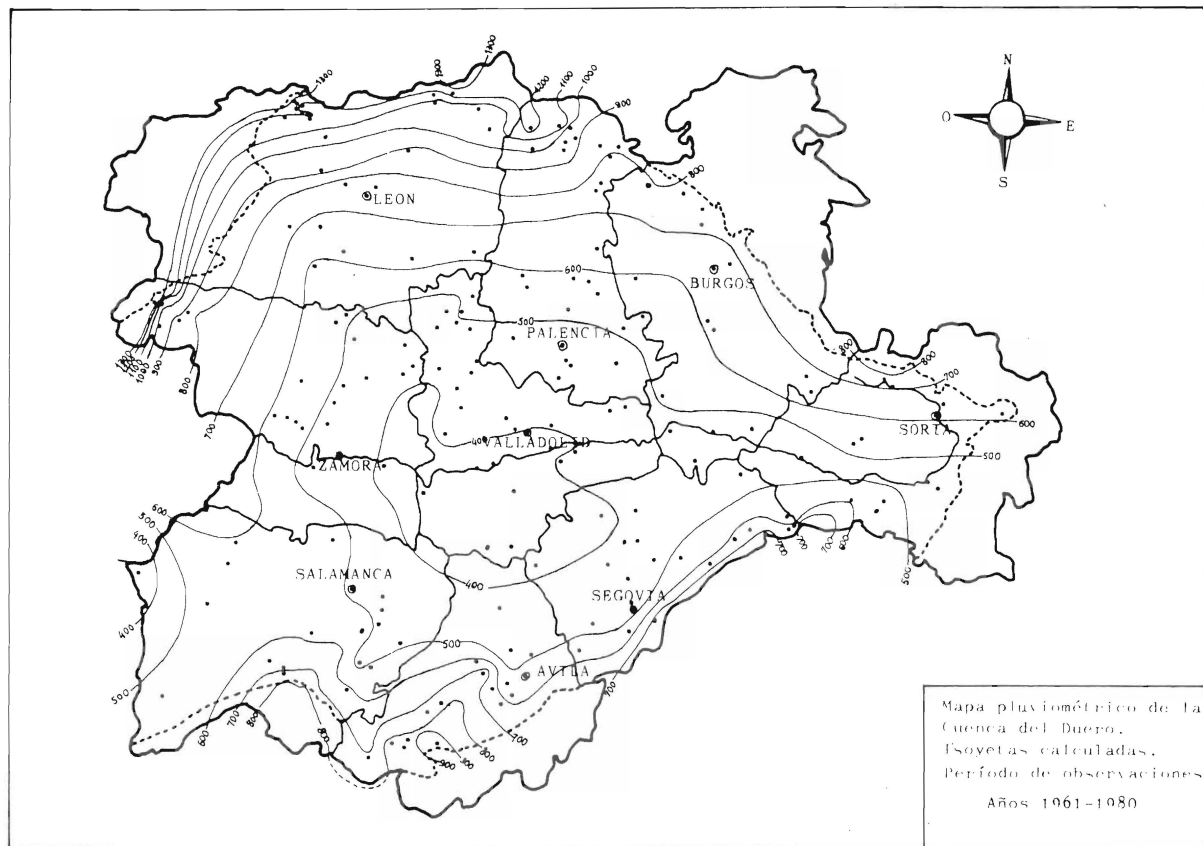
## B

F.I.P.	PDI	PEN	PFB	PJN	PJL	DJL	DSP
F.P.1	0,002	0,003	0,002	-0,002	0,001	-0,001	0,001
F.P.2	0,000	-0,000	0,002	0,001	0,001	-0,001	-0,001
F.P.3	-0,000	-0,001	-0,003	-0,001	0,002	-0,002	0,004

## C

F.D.P.	PDI	PEN	PFB	PJN	PJL	DJL	DSP
F.P.1	0,486	0,669	0,318	-0,329	0,249	-0,331	0,290
F.P.2	0,046	-0,109	0,379	0,216	0,471	0,359	-0,152
F.P.3	0,080	-0,244	-0,496	-0,166	0,874	-0,548	0,907

TABLA IV.—Análisis Discriminante de la distribución de especies con variables pluviométricas. Los resultados se presentan en forma similar a los de la tabla III.



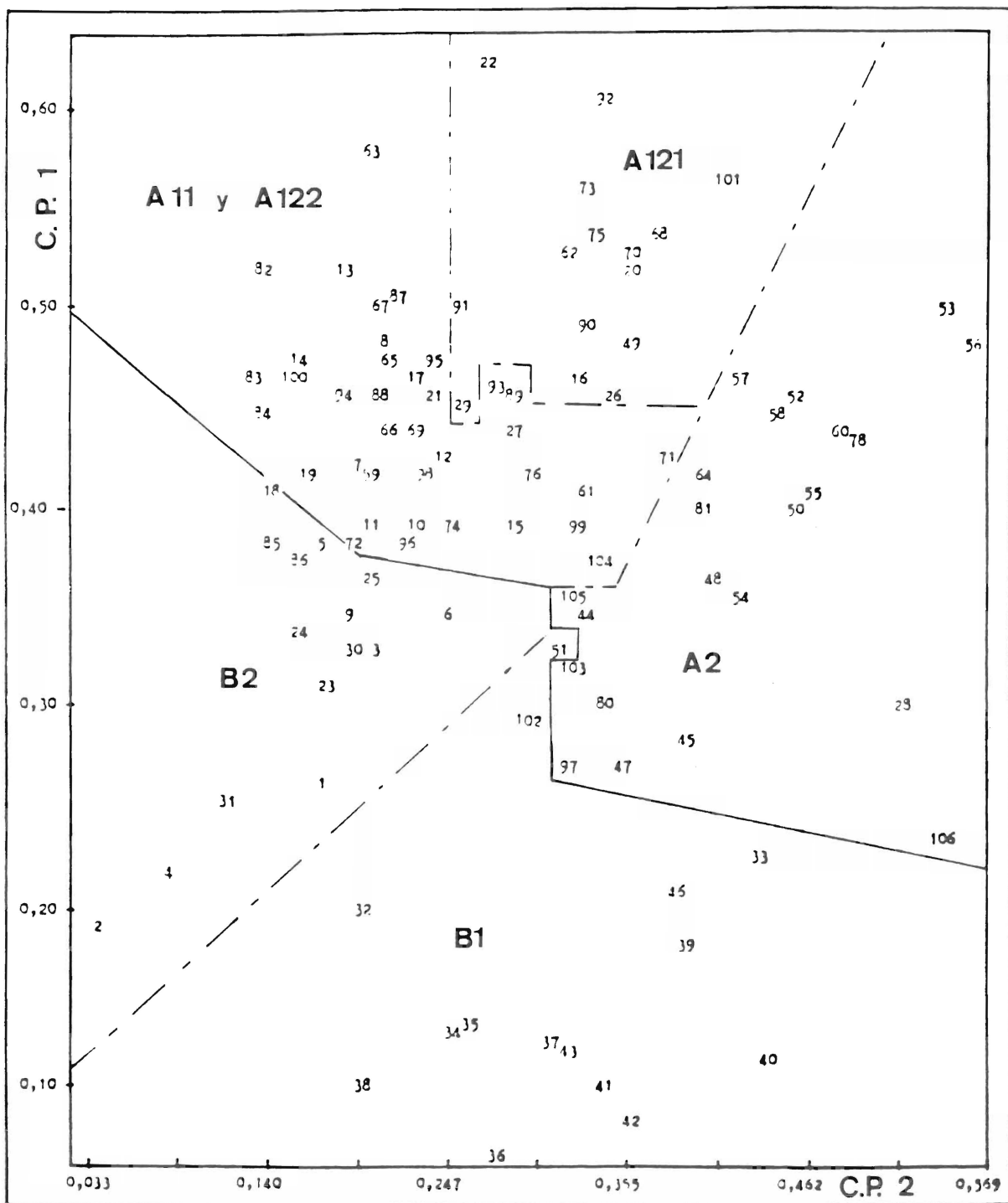


Figura 1.—Diagrama de dispersión de las 104 estaciones definidas sobre los dos ejes principales obtenidos en el análisis de componentes principales. Sobre él se ha reflejado la división del primer nivel del dendrograma mediante línea continua y las sucesivas divisiones por línea de trazos. Con ello queda de manifiesto la separación existente entre los grupos surgidos en la clasificación jerárquica.

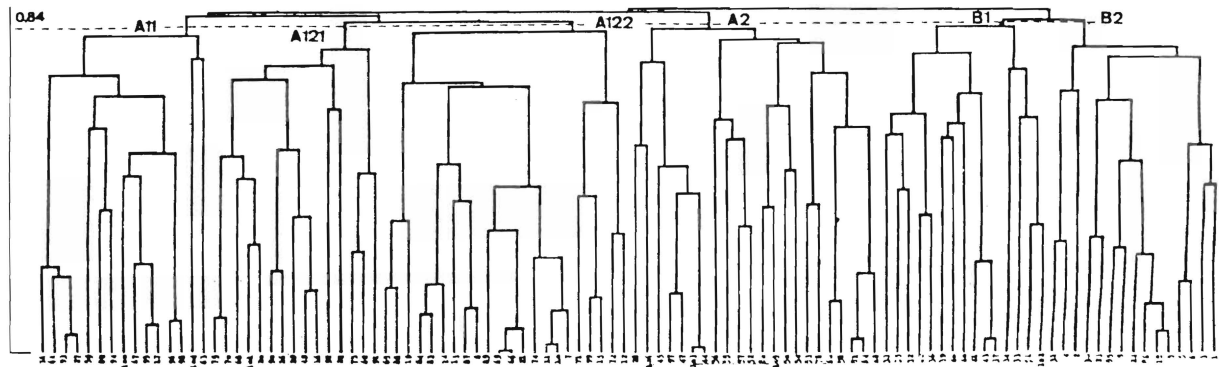


Figura 2.—Dendrograma termopluviométrico obtenido tras el análisis de clasificación jerárquica de las 104 estaciones mediante el algoritmo de agregación de Lance & Williams para  $B = -0,25$ . Sobre el dendrograma se presenta la sección en la que aparecen los seis grupos en que se clasifica la Cuenca del Duero, junto con la distancia a la que se sitúa dicha sección, 0,84.

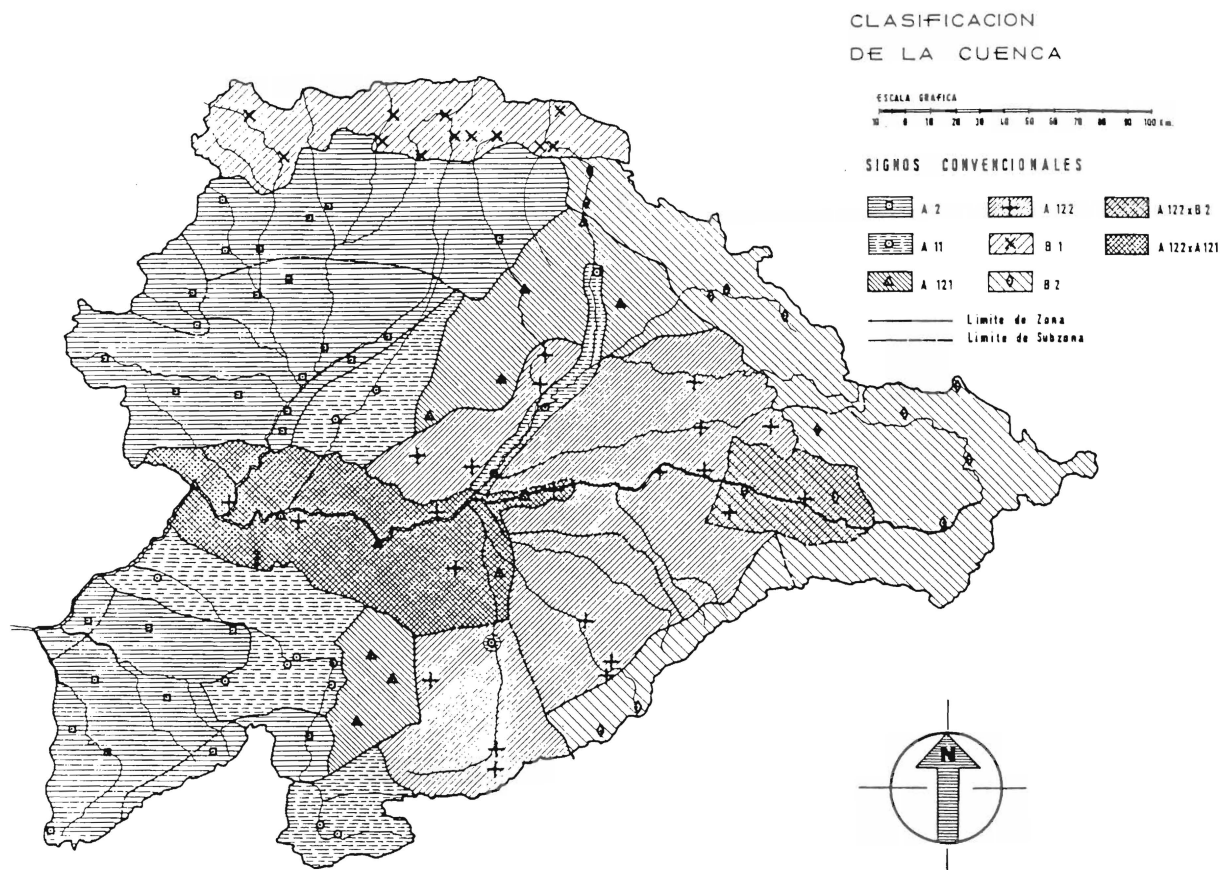


Figura 3.—Mapa de la distribución de las siete clases obtenidas en la Cuenca del Duero. Junto a las zonas ocupadas íntegramente por estaciones de cada clase, aparecen zonas mixtas o de transición entre clases. Asimismo, dentro de cada clase se reflejan subdivisiones de carácter geográfico.

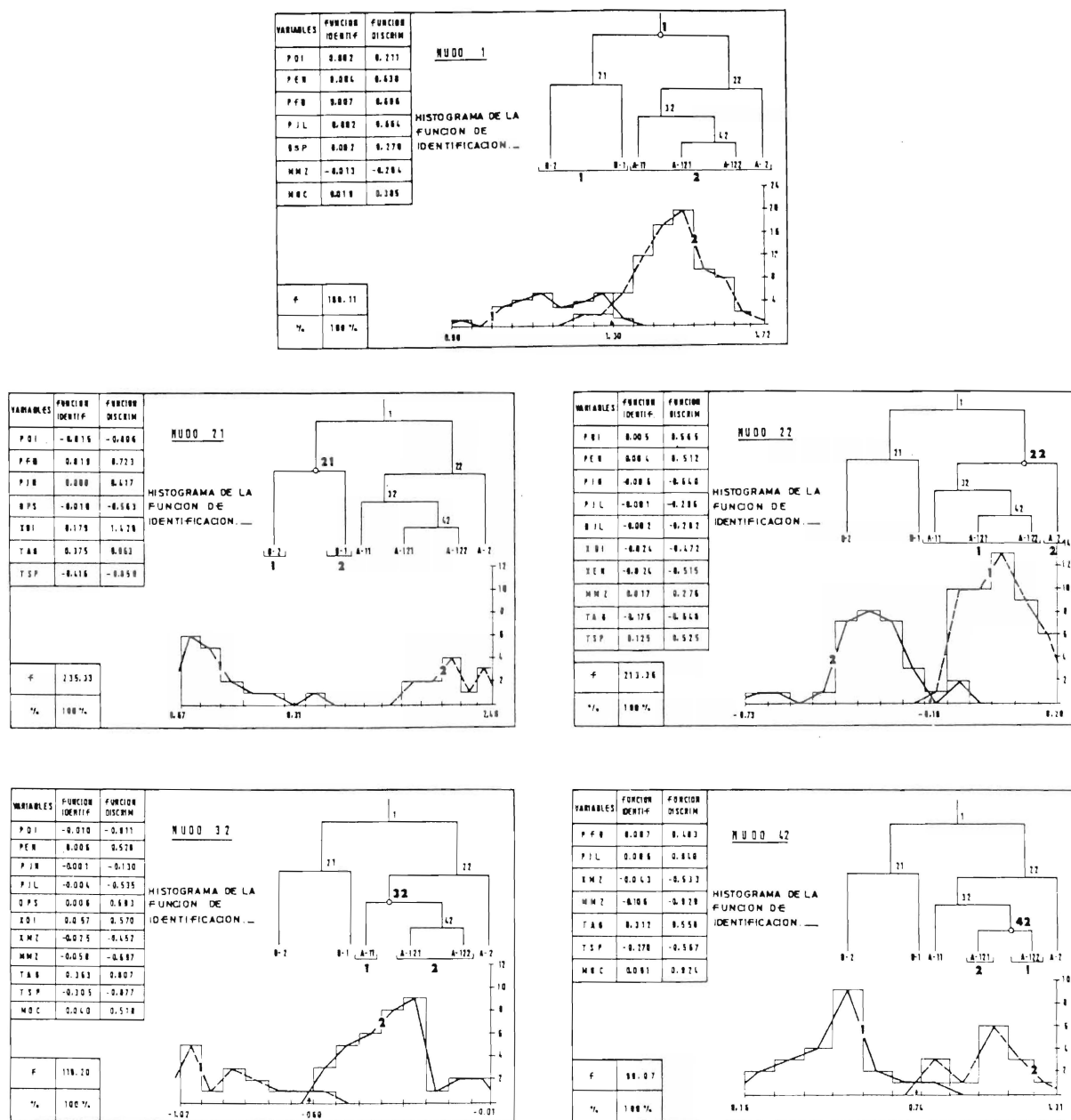


Figura 4.—Clave de clasificación fitoclimática propuesta. En cada uno de los cinco recuadros aparecen las correspondientes funciones de identificación y discriminantes de los nudos, así como un test F de su poder discriminante. En el cuadrante superior derecho se presenta un esquema de la situación del nudo y de los grupos surgidos de él. Por último en el cuadrante inferior derecho se presta un histograma de la función de identificación con el valor umbral de separación entre grupos.